

УДК 621.438:

М.А. ТАРАСЕНКО, А.И. ТАРАСЕНКО

*Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина***ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ПАРАМЕТРЫ ЧАСТИЧНЫХ РЕЖИМОВ ГТД ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Рассматривается однокаскадный газотурбинный двигатель (ГТД) для электростанции, который может иметь теплоутилизирующий контур (ТУК). Рассматривается работа ГТД на частичных режимах при постоянной температуре наружного воздуха. Приведены результаты расчета для ГТД на базе одновальной схемы для различных температур и мощностей, как с ТУК, так и без него. Приведены зависимости параметров двигателя от режима (относительной мощности) для различных температур наружного воздуха. Сделан и обоснован парадоксальный вывод о необходимости подогрева наружного воздуха, если назначен режим частичной мощности

**Ключевые слова:** ГТД, ТУК, компрессор, турбина, мощность, кпд, расход, температура.

**Введение**

К эксплуатационным недостаткам газотурбинного двигателя относят снижение агрегатной мощности и экономичности (КПД) при повышении температуры наружного воздуха (температуры воздуха на входе в двигатель). Этот факт считается классикой (авторы не указывают конкретный источник ввиду широты упоминания). Что касается максимальной агрегатной мощности то с фактом ее уменьшения с ростом температуры нужно считаться. Экономичность ГТД при изменении температуры наружного воздуха, по мнению авторов необходимо рассмотреть подробно. С помощью методики изложенной во [2] получены, приведенные на рис. 1, зависимости КПД от температуры наружного воздуха.

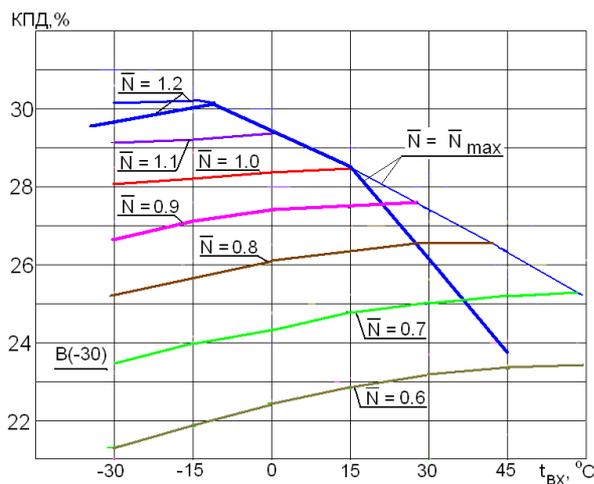


Рис. 1. Зависимость КПД двигателя от температуры наружного воздуха при заданных мощностях

На рис. 1 более толстая ограничивающая кривая взята с проспекта ПО «ЗОРЯ»-«МАШПРОЕКТ».

На графике рис. 1 показана кривая максимальной мощности для двигателя UGT 2500 без теплоутилизирующего контура. Следует отметить, что мощность двигателя ограничена на уровне 120% от номинальной мощности. Видно, что при работе постоянной мощностью (120%) КПД двигателя падает с уменьшением температуры наружного воздуха. Таким образом, если двигатель работает максимально возможной мощностью (ограничение по температуре) его КПД с понижением температуры возрастает (этот факт широко известен). Но если мощность двигателя постоянна и меньше максимально допустимой, то КПД с уменьшением температуры уменьшается.

Из графика рис. 1 и результатов полученных авторами во [2] следует, что целесообразно организовать подогрев воздуха на входе с целью увеличения КПД при работе на частичных режимах при низких температурах.

Используя подогрев воздуха на входе, можно менять мощность двигателя с незначительным понижением температуры цикла, а следовательно и КПД, и без срыва ТУК.

**1. Формулирование проблемы**

Идея подогрева воздуха на входе в двигатель вызывает удивление специалистов. Для того чтобы убедить их достаточно рассмотреть зависимость совокупности основных параметров двигателя от температуры наружного воздуха на входе в двигатель.

**Цель работы** – обосновать, путем сравнительных расчетов на ЭВМ, целесообразность применения подогрева циклового воздуха. Рассмотрение зависимости совокупности основных параметров двигателя от температуры наружного воздуха.

### 1.1. Общие соображения

Авторами разработана методика [1], позволяющая получить зависимость КПД двигателя на частичных режимах при заданной температуре воздуха на входе. На рис. 2 приведены результаты такого расчета для одновального ГТД простой схемы без ТУК с параметрами двигателя UTG 110000 который выпускается ПО «ЗОРЯ»-«МАШПРОЕКТ» для привода генератора в условиях электростанции.

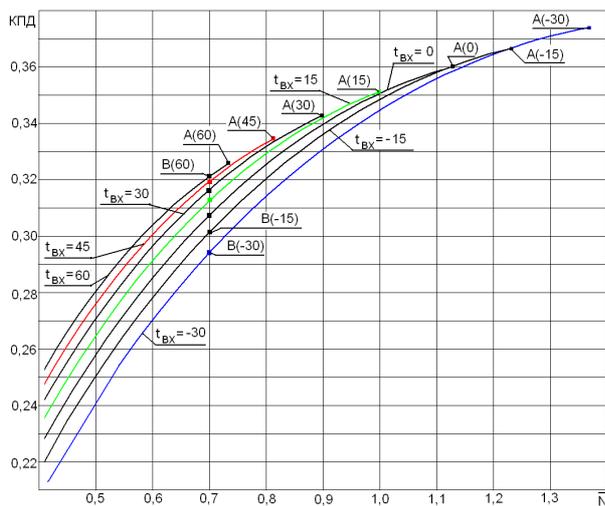


Рис. 2. Зависимость КПД от мощности двигателя при заданной температуре на входе в двигатель

На рис. 2 точки A(-30), A(-15), ..., A(60) соответствуют максимальной допустимой мощности. Точки B(-30), B(-15), ..., B(60) соответствуют мощности 70%. Аналогичные точки можно указать и для других мощностей. Зависимость КПД от температуры, полученная на основе рис. 2, показана на рис. 3

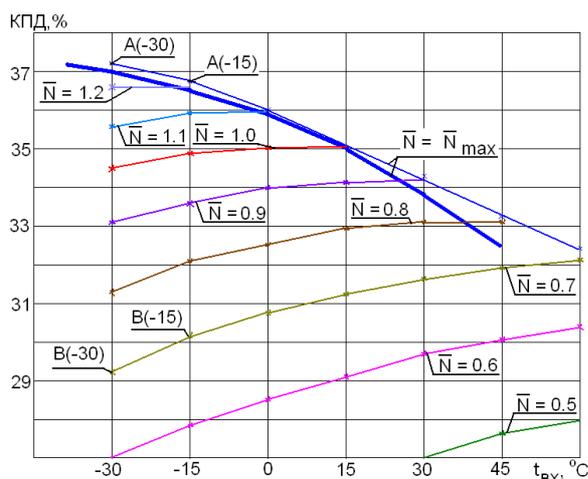


Рис. 3. Зависимость КПД двигателя от температуры наружного воздуха при заданных мощностях

На рис. 3 более толстая ограничивающая кривая взята с проспекта ПО «ЗОРЯ»-«МАШПРОЕКТ». Из рис. 3 видно, что КПД при максимально допус-

тимой мощности с понижением температуры наружного воздуха растет, что является широко известным фактом наряду с тем, что максимально допустимая мощность при понижении температуры наружного воздуха увеличивается. Следует отметить, что при работе на максимально допустимой мощности, увеличение КПД, при понижении температуры наружного воздуха, должно сопровождаться увеличением вырабатываемой мощности. Работа ГТД на повышенной мощности мало вероятна. Работу на повышенной мощности должен допустить генератор. Стоимость тяжелых электрических машин пропорциональна их мощности. Увеличить мощность генератора с целью ее использования при низких температурах наружного воздуха дорого потому, что холодно не всегда.

Однако, при работе с постоянной мощностью, КПД с понижением температуры падает даже на режиме 110% (для UTG 110000 это мощность 120 МВт).

Из приведенного графика следует парадоксальный вывод о необходимости подогрева воздуха на входе в ГТД. Действительно на режимах работы до 70% от номинальной мощности воздух на входе целесообразно подогреть до 60 °С.

Для подогрева воздуха можно использовать водогрейный утилизационный котел, которым ГТД, как правило, комплектуют.

На рис. 4 показана схема газотурбинного двигателя с ТУК и входным подогревателем циклового воздуха на базе одновального ГТД.

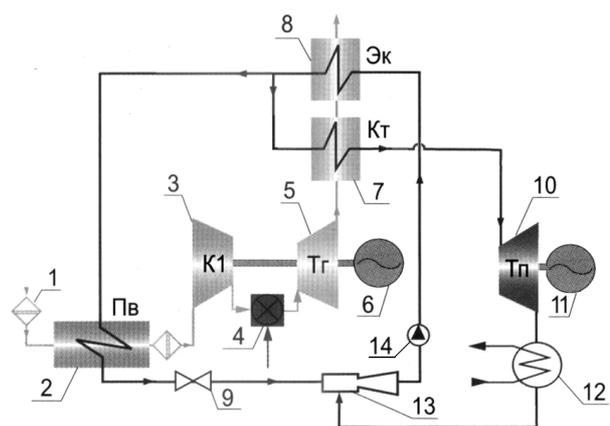


Рис. 4. Схема одновального ГТД с ТУК и подогревателем циклового воздуха:  
1 — фильтр грубой очистки; 2 — подогреватель циклового воздуха; 3 — компрессор; 4 — камера сгорания; 5 — турбина газовая; 6 — генератор (внешняя нагрузка); 7 — котел; 8 — водоподогреватель (экономайзер); 9 — регулирующий кран; 10 — турбина паровая; 11 — генератор (внешняя нагрузка); 12 — конденсатор; 13 — струйный аппарат; 14 — насос

На рис. 5 показан график, аналогичный рис. 3, для случая использования теплоутилизационного контура (ТУК) применительно к двигателю UTG 110000.

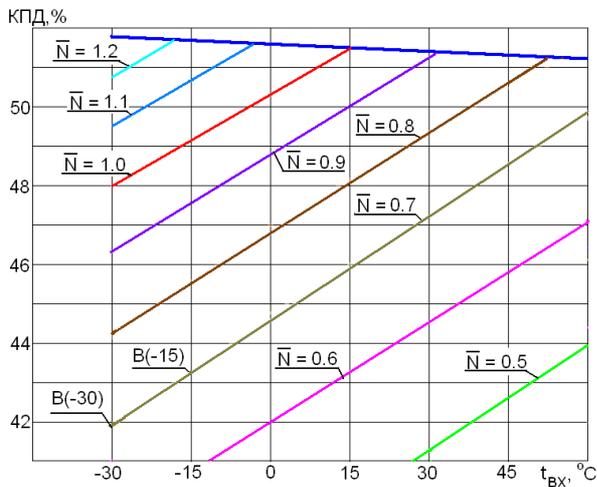


Рис. 5. Зависимость КПД двигателя от температуры наружного воздуха при заданных мощностях для ГТД с ТУК

Сравнение рис. 3 и рис. 5 показывает, что в случае применения ТУК влияние температуры наружного воздуха на КПД проявляется в большей степени (точки В). Этот факт можно объяснить тем, что снижение температуры наружного воздуха вызывает понижение температуры газов перед утилизационным котлом. При расчетах рис. 5 полагалось, что давление и температура в конденсаторе ТУК не меняется в зависимости от режима и температуры наружного воздуха.

Одной из опасностей работы с ТУК может быть его срыв при понижении температуры наружного воздуха. Поэтому подогрев воздуха на входе в ГТД полезен и для повышения КПД и для осуществления стабильной работы ТУК. Для подогрева воздуха можно использовать водогрейную секцию утилизационного котла. Низкопотенциального тепла в утилизационном контуре много и нагреть воздух до 90 °С не проблема. Важно, чтобы ГТД допускал такой нагрев из условий прочности и устойчивости компрессора.

Из графика рис. 5 видно, что если ГТД с ТУК работает на номинальном режиме при температуре наружного воздуха -30 °С то подогрев воздуха до 15 °С позволит сэкономить 7% топлива. Аналогичный маневр на 70% мощности увеличит КПД с 42% до 50%, что равносильно экономии 19% топлива. Для автономной работы в заполярье это важно.

Для газотурбинного двигателя важны рабочие линии на характеристике компрессора.

На рис. 6 показаны рабочие линии для ГТД на характеристиках компрессора от 45 до -30 °С.

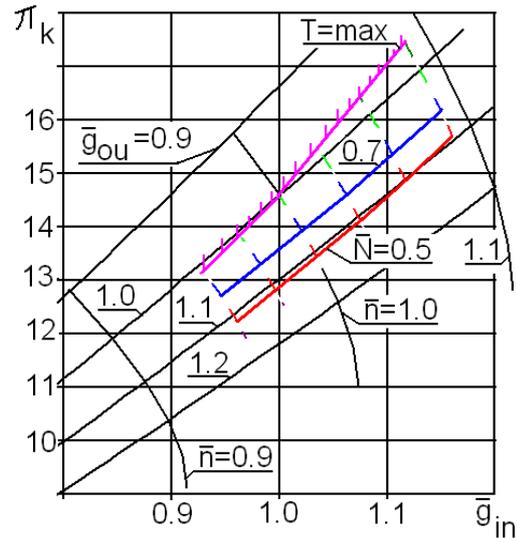


Рис. 6. Линии заданной мощности на характеристике компрессора

Линии на рис. 6 показывают, что работа постоянной мощностью никаких проблем с компрессором не создает. Компрессору не грозит ни помпаж ни запирание и работает он вблизи оптимальной зоны.

На рис. 7 показаны зависимости параметров ГТД от мощности при температуре входа -30 °С.

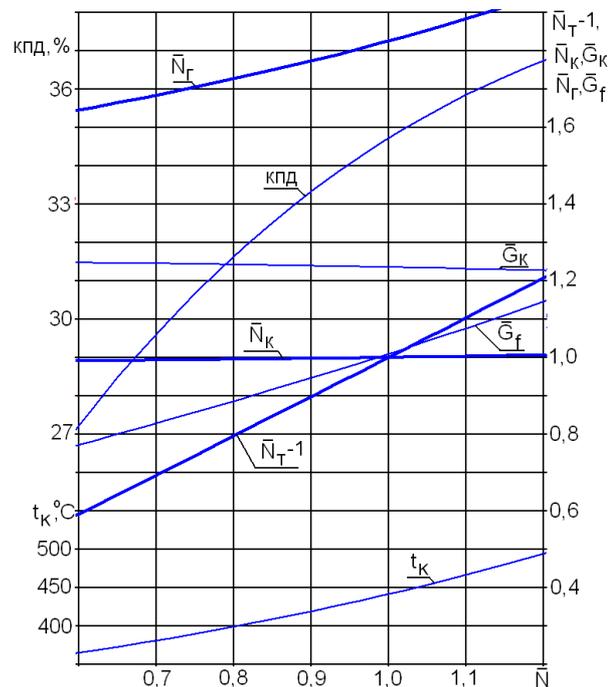


Рис. 7. Зависимость параметров двигателя от мощности при температуре воздуха на входе -30 °С

На рис. 7 –10 показаны зависимости для следующих параметров:

$t_k$  – температура на входе в утилизационный котел в °С;

$\bar{N}_T$  – мощность турбины, отнесенная к мощности двигателя на номинальном режиме;

$\bar{N}_K$  – мощность компрессора, отнесенная к мощности двигателя на номинальном режиме;

$\bar{N}_T^{-1}$  – «мощность» отходящих газов, отнесенная к мощности двигателя на номинальном режиме;

$\bar{G}_K$  – расход газа на входе в утилизирующий котел, отнесенный к этому же параметру на номинальном режиме ;

$\bar{G}_f$  – расход топлива в камере сгорания, отнесенный к этому же параметру на номинальном режиме ;

КПД – коэффициент полезного действия двигателя в %.

На рис. 8 показаны зависимости параметров ГТД от мощности при температуре входа 15 °С.

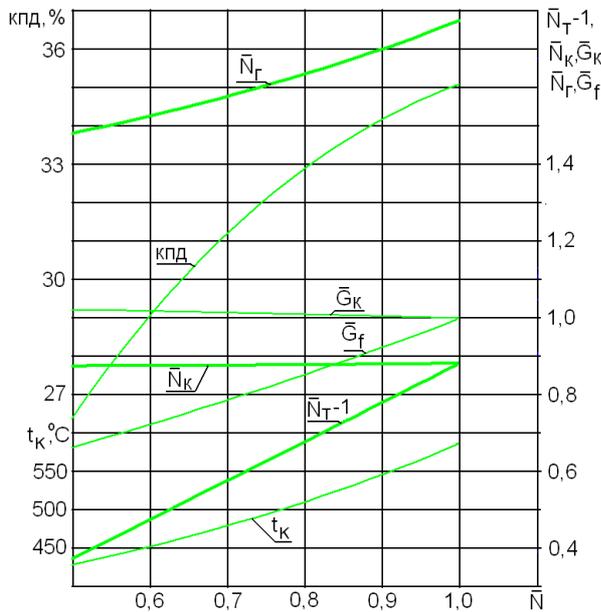


Рис. 8. Зависимость параметров двигателя от мощности при температуре воздуха на входе 15 °С (номинальной входной температуре)

Рис. 7 и 9 позволяют утверждать, что **мощность, потребляемая компрессором, возрастает с понижением входной температуры**. Действительно, фактическая скорость вращения остается постоянной, а с уменьшением входной температуры возрастают приведенная скорость вращения, расход воздуха и степень повышения давления. Из очевидных фактов следует указать на резкое снижение температуры перед утилизирующим котлом с понижением температуры наружного воздуха, что чревато срывом работы ТУК.

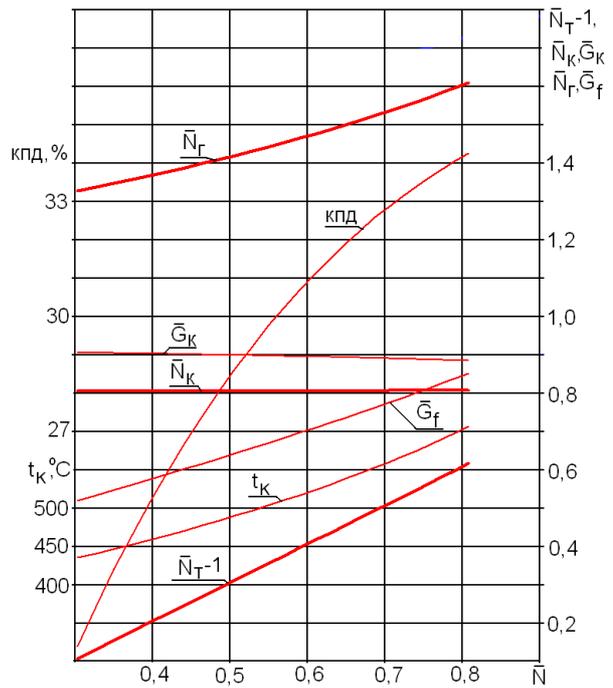


Рис. 9. Зависимость параметров двигателя от мощности при температуре воздуха на входе 45 °С

Интерес представляет сравнительный анализ графиков рис. 7 и 9. На рис. 10 показаны графики рис. 7 и 9, наложенные друг на друга.

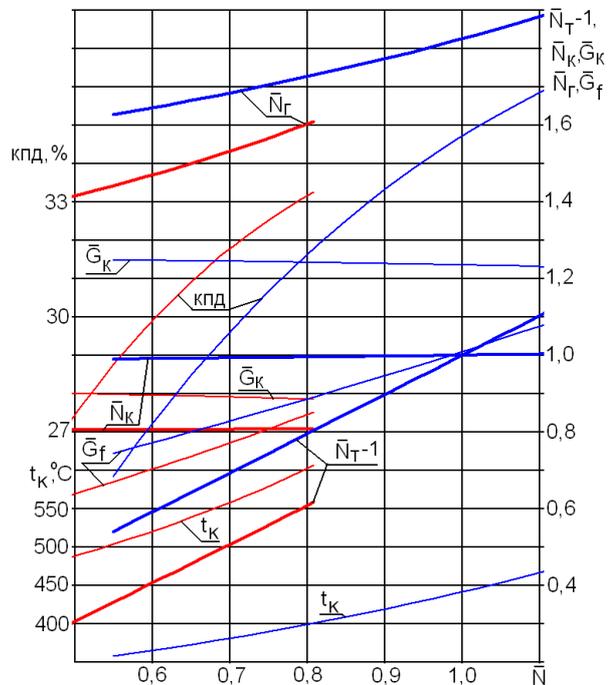


Рис. 10. Зависимость параметров двигателя от мощности при температуре воздуха на входе для 45 и -30 °С

Надо подчеркнуть, что энергия отходящих газов с уменьшением входной температуры растет. Температура отходящих газов уменьшится, а вот энергия увеличится в связи с увеличением расхода воздуха.

## 2. Решение проблемы

Можно рекомендовать сравнительно простую схему двигателя на рис. 4 с предварительным подогревом воздуха. Для обеспечения необходимой мощности при высоких температурах (для 45 °С ) номинальную мощность двигателя следует увеличить на 15%.

## Заключение

При работе с постоянной мощностью КПД с понижением температуры падает даже на режиме 110%. (для UTG 110000 это мощность 120 МВт).

На режимах работы до 70% от номинальной мощности воздух на входе целесообразно подогреть до 60 °С и выше, если позволяет прочность и устойчивость компрессора.

*Поступила в редакцию 31.05.2013, рассмотрена на редколлегии 13.06.2013*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.Р. Ткач, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев.

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ НА ПАРАМЕТРИ ЧАСТКОВИХ РЕЖИМІВ ГТД ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

*М.О. Тарасенко, О.І. Тарасенко*

Розглядається однокаскадний газотурбінний двигун (ГТД), для електростанції, який може мати теплоутилізуючий контур (ТУК). Розглядається робота ГТД на часткових режимах при постійній температурі зовнішнього повітря. Наведено результати розрахунків для ГТД на базі одновальної схеми для різних температур та потужностей, як з ТУК, так і без нього. Наведено залежності параметрів двигуна від режиму (відносної потужності) для різних температур зовнішнього повітря. Зроблено та обґрунтовано парадоксальний висновок необхідності підігріву зовнішнього повітря, якщо призначено режим часткової потужності.

**Ключові слова:** ГТД, ТУК, компресор, турбіна, потужність, ккд, витрата, температура.

## EXTRANEOUS TEMPERATURE EFFECT ON THE PARAMETERS OF AIR MODES FOR PARTIAL GTE POWER

*M.A. Tarasenko, A.I. Tarasenko*

We review a single-stage gas turbine engine (GTE) for the power plant, which can have heat-recovering outline (HRO). Examines the work of GTE on partial mode at a constant temperature of the extraneous air. The results of the calculation for a single-shaft gas turbine engines on the basis of schemes for different extraneous temperatures and capacities, as with HRO, and without it. Dependences on the mode of engine parameters (relative power) for different extraneous temperatures. Made and justified paradoxical conclusion about the need of heating extraneous air, if appointed regime of partial capacity.

**Key words:** GTE, HRO, compressor, turbine, power, efficiency, consumption, temperature.

**Тарасенко Марія Александровна** – інженер, ст. лаборант кафедри механіки і конструювання машин Національного університету кораблестроєння ім. адм. Макарова, Николаєв, Україна, e-mail: tai777@ukrpost.net.

**Тарасенко Александр Иванович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри механіки і конструювання машин Національного університету кораблестроєння ім. адм. Макарова, Николаєв, Україна, e-mail: tai777@ukrpost.net.

Подогрев воздуха на входе в ГТД полезен и для повышения КПД и для осуществления стабильной работы ТУК.

Если на частичном режиме температура за камерой сгорания ниже номинальной, то целесообразно осуществлять подогрев воздуха на входе до тех пор пока температура за камерой сгорания не приблизится к номинальной температуре.

Мощность потребляемая компрессором при понижении температуры наружного воздуха возрастает вследствие увеличения расхода воздуха.

## Литература

1. Тарасенко, М.А. *Оптимальное промежуточное охлаждение ГТД разных схем на частичных режимах [Текст] // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 9 (76). – С. 56–58.*

2. Тарасенко, М.А. *Влияние температуры наружного воздуха на КПД одновального газотурбинного двигателя для электростанции [Текст] / М.А. Тарасенко, А.И. Тарасенко // Газотурбинные технологии. – 2012. – № 8 (109). – С. 28–31.*